

炭素質コンドライト中の Amoeboid olivine aggregates の成因についての実験的研究

Experimental study of high temperature annealing of amoeboid olivine aggregates

小松 睦美[1], 宮本 正道[2], 三河内 岳[3], 小暮 敏博[1], Alexander Krot[4], Klaus Keil[5]

Mutsumi Komatsu[1], Masamichi Miyamoto[2], Takashi Mikouchi[3], Toshihiro Kogure[4], Alexander Krot[5], Klaus Keil[5]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・宇宙惑星, [3] NASA ジョンソン宇宙センター, [4] ハワイ大・地球物理惑星科学研究所, [5] ハワイ大・地球物理惑星科学

[1] Earth and Planetary Sci. Univ. of Tokyo, [2] Space and Planetary Sci., Univ. of Tokyo, [3] SN2, NASA/JSC, [4] Earth and Planetary Sci., Univ Tokyo, [5] HIGP, Univ. of Hawaii

Amoeboid olivine aggregates (AOA)は、数種の炭素質コンドライト中に見られ、細粒の鉱物から成る数 mm から数 cm 程度の集合体である。AOA の大きな特徴の一つは、その中に難揮発性鉱物と Mg ケイ酸塩鉱物とが共存しており、Ca, Al-rich インクルージョン(CAI)とコンドリュールとの関連を示唆していることである。本研究では、始原的隕石に含まれる AOA の鉱物学的特徴、その熱史及び CAI とコンドリュールとの関連性について明らかにすることを目的とした。

AOA は、細粒の Mg 成分に富むカンラン石(Ol)と Ca, Al に富んだ難揮発性ノジュールから構成されている。AOA 中に含まれる難揮発性ノジュールの大きな特徴は、アノーサイト(An)のコアの周りに Al-ディオプサイド(Cpx)が存在し、Ol と接していることである。また、AOA には大規模に溶融した形跡は見られないが、Ol の 120o triple junction、ドーナツ状の Ol、丸みを帯びた Fe, Ni 金属相の存在など、AOA が高温の annealing を受けたことを示唆する組織が存在する。これらの観察結果を基に、annealing が AOA に与えた影響を調べるため、合成のフォルステライト(Fo)、天然の Ol、An、メリライト、ペロプスカイトの混合粉末の等温実験及び冷却実験を行った。

粉末の出発物質は、酸素分圧制御された電気炉中において設定温度まで加熱後、等温実験ではクエンチ、冷却実験では冷却速度を一定に保ちながら冷却し、その後、SEM、EPMA、電子後方散乱回折像法(EBSD)を用いた鉱物学的研究を行った。

等温実験及び冷却実験の結果、Fo + An 混合粉末は、1310oC 付近で部分溶融を起こし、AOA 中のものと類似した組織を示した。また、等温実験チャージ及び冷却実験チャージに含まれる Cpx-like phase の化学組成を調べた結果、冷却実験チャージ中の化学組成は、AOA に含まれる Cpx の組成と近い値を持つことがわかった。一方、等温実験で得られた Fo + An 中の Cpx-like phase の化学組成は AOA の Cpx に比べて、低い SiO₂ と CaO 値を示した。AOA 中に含まれる Ol、An、Cpx 及び加熱実験チャージ中の Cpx-like phase の結晶学的特徴は、EBSD を用いて調べられ、その結果、AOA 及び実験チャージ中の全ての結晶から菊池パターンが得られ、結晶であることが明らかになった。

さらに、Cpx に含まれる TiO₂ 量の変化を調べるために、Fo+An の出発物質に Pv を加えた実験を行った結果、Ti を含む Cpx-like phase が得られた。しかし、AOA 中に見られるペロプスカイトはスピネルよりも内側に存在することを考えると、Pv を溶解するには、大部分の An とスピネルが溶融されなければならない、ペロプスカイトが Fo と An の反応に関わった可能性は低いと考えられる。

過去の研究により、AOA は原始太陽系星雲ガスからの凝縮物であり、凝縮後、層状ケイ酸塩を生成する程の温度までガスと反応して形成されたと考えられている。平衡凝縮モデル計算によると(e.g., Yoneda and Grossman, 1995)、AOA の構成物質の凝縮順序はスピネル、メリライト、Cpx、Fo、An である。平衡凝縮計算では An は最も低温で凝縮すると予想されているにもかかわらず、AOA ではスピネルと Cpx の間に存在する。過去の AOA の研究では An は Mel (1356oC) の 2 次変成によって形成されたと考えられていたが(Grossman, 1976)、それでは低温で凝縮するスピネルの後に高温で凝縮するメリライトが形成されたことになり、矛盾を生じる。

さらに、2 次変成を殆ど受けていない reduced CV にも An が含まれており、An は primary である可能性が高い。An がスピネル + Cpx と星雲ガスとの反応で出来るのに対し、Fo は星雲ガスから直接凝縮する (e.g., Grossman, 1972) ことを考慮すると、AOA の形成過程では、Al, Ti-ディオプサイド(Ti-Cpx)、スピネル、An から成り立つ難揮発性ノジュールが出来上がった後、細粒の Fo が集積したものと考えられる。その後、AOA は加熱を受け、Fo と An の部分溶融により Cpx が形成されたことが示唆された。

また、Al-rich コンドリュールは AOA と類似した鉱物から成り立ち、バルク組成も重なりを示す。しかし AOA には中揮発性元素が殆ど含まれておらず、AOA を直接溶融しただけでは Al-rich コンドリュールは生成されることが明らかになった。